

ARTÍCULO

Cambios de la variabilidad en la frecuencia cardiaca en altura en futbolistas profesionales

Changes in heart rate variability during altitude in professional football players

Iván Contador G.^{a, b}, Marcelo Cano C^{b, c}, Allan White^{b*}

- a. Escuela de Medicina, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
- b. Laboratorio de Ciencias de la Actividad Física, ICBM, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
- c. Departamento de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

*Autor correspondiente. awhite@med.uchile.cl

Recibido el 04 de julio 2019 / Aceptado el 03 de marzo 2020

Resumen

Introducción: La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es una forma de evaluar la modulación autonómica del corazón. Tanto el ejercicio físico agudo como la altura tienen un impacto en la regulación autonómica cardiaca, evidenciado por cambios en los parámetros de la VFC. Hay evidencia de la utilidad de la medición de la VFC en el deporte como herramienta de seguimiento de los deportistas y tiempos de recuperación.

Objetivo: Describir los efectos de la hipoxia hipobárica y ejercicio de alta intensidad en la VFC en jugadores de fútbol profesional.
Materiales y métodos: Se analizaron registros realizados durante 5 minutos en reposo a jugadores de un equipo de fútbol el año 2012, en tres localidades diferentes.

Discusión: Se observa una reducción significativa en los parámetros de la VFC en situaciones de hipoxia hipobárica posterior a una competencia internacional, con retorno a la normalidad de estos parámetros 36 horas después en la ciudad de Santiago. Este trabajo permite evidenciar la utilidad de la VFC como una herramienta de control fisiológico frente a la realización de esfuerzo de alta intensidad en condición de hipoxia hipobárica, así como de su posterior recuperación en deportistas profesionales.

Palabras clave: Variabilidad de la frecuencia cardiaca, hipoxia hipobárica, altura, fútbol, ejercicio, recuperación.

Abstract

Introduction: Heart Rate Variability (HRV) is a method to assess cardiac autonomic modulation. Acute physical exercise as well as altitude have an impact on the autonomic regulation of the heart, as evidenced by changes in HRV parameters. There is evidence of the utility of HRV measurement in sports as a tool for monitoring athletes and recovery times.

Aim: To describe changes in cardiac autonomic regulation through HRV measurement in players of a professional soccer team, under conditions of hypobaric hypoxia as well as normobaric normoxia. **Materials and methods:** An analysis was made from the records of soccer players measured in three different locations, in the year 2012.

Discussion: There was a significant decrease in HRV parameters under conditions of hypobaric hypoxia after an international championship match, with returned to normal values 36 hours later in the city of Santiago. This study provides evidence of the utility of HRV measurement as a tool of physiologic monitoring in situations of high intensity exercise under hypobaric hypoxia and the following recovery in professional athletes.

Keywords: Heart rate variability, hypobaric hypoxia, altitude, soccer, exercise, recovery.

Introducción

Una forma de evaluar la modulación autonómica en el corazón es por medio de la medición de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC o HRV por sus siglas en inglés)

(1). Esto corresponde al análisis de las variaciones del tiempo transcurrido entre cada intervalo R-R en el electrocardiograma. En general, una mayor VFC es indicador de una mayor modulación vagal en el corazón (2). El análisis de la VFC se puede realizar tanto en el dominio de tiempo, o análisis estadístico, como en el dominio de frecuencia, o análisis espectral (3). Entre las mediciones del dominio de tiempo se puede utilizar la desviación estándar de intervalos normales (SDNN), la raíz cuadrada de la media cuadrática de las diferencias entre intervalos RR sucesivos (RMSSD) y la proporción de los intervalos normal a normal (R-R) que difieren en más de 50 ms (pNN50). El RMSSD y el pNN50 son marcadores de actividad parasimpática, la cual se encuentra reducida después del ejercicio físico (4).

A partir de estas herramientas se obtiene un espectro de frecuencias que componen la Potencia Total (TP). En la TP pueden distinguirse componentes de baja frecuencia (LF) y alta frecuencia (HF). Mientras HF es un indicador de actividad parasimpática, LF está mediado tanto por actividad simpática como parasimpática (2).

También es posible realizar un análisis visual de la VFC mediante el gráfico de Poincaré, una representación geométrica de los componentes no lineales de la VFC. A partir del gráfico de Poincaré se puede calcular los índices SD1, SD2 y la razón SD1/SD2, los cuales se correlacionan con el análisis espectral (5).

Cambios de la variabilidad en la frecuencia cardiaca en altura en futbolistas profesionales

Diferentes estudios han investigado la utilidad de la medición de la VFC en el deporte, tales como cuantificación de la carga de entrenamiento (6), evaluación de la recuperación post ejercicio (7) y efectos del entrenamiento (8).

El ejercicio físico agudo tiene un impacto en la modulación autonómica del corazón, evidenciado por cambios en los parámetros de la VFC (9). Sesiones agudas de ejercicio cardiorrespiratorio reducen la potencia espectral de HF y aumentan la potencia espectral de LF, lo cual implica una disminución del tono vagal y mayor actividad simpática post-ejercicio (10).

El ejercicio en altura es otro factor que puede modificar la regulación autonómica del corazón (11), habiéndose observado que sesiones de ejercicio agudo, producen una disminución de la VFC (7).

El objetivo de este estudio es describir los efectos de la hipoxia hipobárica y ejercicio de alta intensidad en la VFC en jugadores de fútbol profesional y luego de 36 horas de

jugado el partido, en un ambiente de normoxia normobárica.

Materiales y métodos

Se utilizaron datos recopilados de mediciones realizadas a 16 jugadores pertenecientes a un equipo de fútbol masculino que participó en la Copa Libertadores de América el año 2012 (Tabla I). Para registrar los tiempos de cada intervalo R-R del ritmo cardiaco se utilizó un monitor Polar RS800 (12) y posteriormente estos registros fueron analizados utilizando el software Kubios (University of Eastern Finland) (13). Las mediciones se realizaron en tres ocasiones en localidades diferentes: la primera se realizó en la ciudad de Arica (menos de 20 msnm), un día antes del partido; la segunda en La Paz (3800 msnm), inmediatamente después del partido; la tercera, en Santiago (500 msnm) 36 horas después del partido. Las mediciones se tomaron con los sujetos en reposo en posición supina, después de un descanso de 5 minutos, efectuándose el registro de los intervalos RR por un periodo de 5 minutos (14). No se controló la frecuencia respiratoria de los sujetos, permitiéndose que ventilaran con frecuencia y amplitud espontáneas.

Tabla I. Caracterización de la muestra.

Caracterización de la muestra	
N	16
Edad promedio	25,1 ± 4,7 años
IMC promedio	23,9 ± 2,0 kg/m ²

Estos registros de la duración de los intervalos RR fueron analizados con el programa de variabilidad Kubios utilizando un filtro medio para eliminar artefactos.

Posteriormente se realizó un análisis estadístico con el software SPSS 21.0 de los parámetros de dominio de tiempo (pNN50), dominio de frecuencia (potencia de baja frecuencia – LF, potencia de alta frecuencia – HF y sus conversiones a logaritmo natural, lnHF y lnLF) y análisis no lineal (SD1 y SD2 del gráfico de Poincaré). El análisis estadístico empleó pruebas no paramétricas para comparar los diferentes conjuntos de valores de cada variable obtenidas en las diferentes condiciones.

Las pruebas no paramétricas utilizadas fueron dos: la prueba de muestras relacionadas de Friedman, para buscar diferencias significativas entre todas las muestras de un mismo parámetro, y la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para distinguir entre cuáles de estas muestras se encuentran las diferencias. Para

ambas se utilizó un nivel de significancia con $\alpha = 0,05$ y un intervalo de confianza (IC) del 95%.

Resultados

En la Tabla I se detallan los resultados de las mediciones obtenidos en las diferentes localidades. En la ciudad de La Paz, en comparación tanto con Arica y con Santiago, se obtuvieron valores significativamente menores ($p < 0,05$) en las mediciones de dominio de tiempo (Media RR, SDNN, RMSSD, pnn50), HF, SD1 y SD 2. También al comparar los valores obtenidos en Santiago con los de Arica estos son significativamente mayores para la Media RR, SDNN, pnn50, HF, SD1 y SD 2. En el Gráfico I se observa la dispersión de los valores de pnn50 y en el Gráfico III se observa la misma tendencia para SD1. Como se observa en el Gráfico II, al convertir los valores de HF a logaritmo natural (lnHF) se mantiene la diferencia entre Arica y La Paz, pero se pierde al comparar Arica con Santiago. No se observan diferencias estadísticamente significativas en LF entre las tres ciudades.

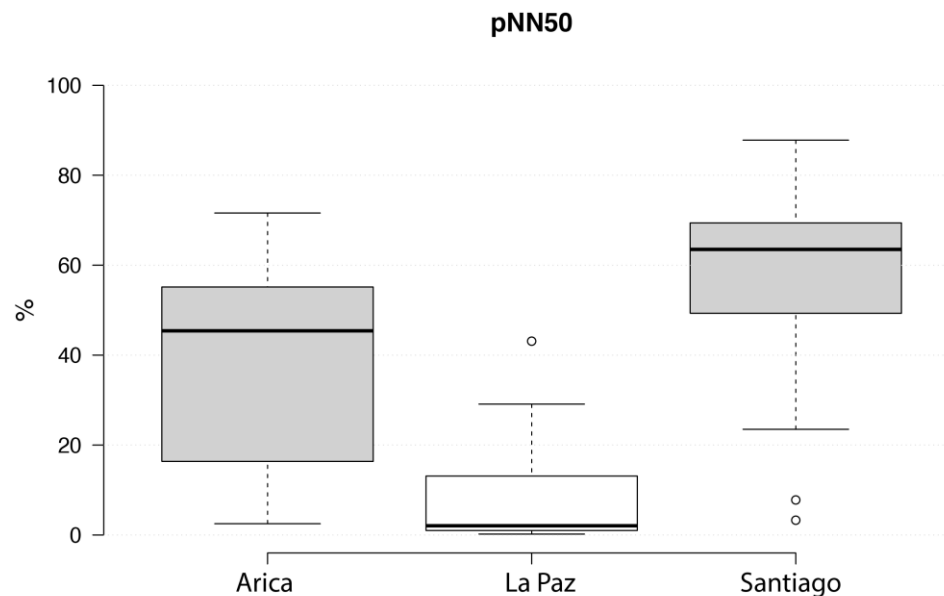
Cambios de la variabilidad en la frecuencia cardiaca en altura en futbolistas profesionales

Tabla II. Valores de las variables medidas en las diferentes condiciones experimentales.

	Arica	La Paz	Santiago			
Media RR (ms)	1.022,1 (817,6 – 1.225,4)	815,8 (657,7 – 974,6)	1.176,4 (898,4 – 1.594,4)	*	#	†
SDNN (ms)	74,0 (32,1 – 169,2)	36,9 (23,6 – 99,8)	102,9 (37,2 – 213,5)	*	#	†
RMSSD (ms)	66,3 (20,6 – 154,1)	23,7 (10,6 – 80,5)	100,9 (24,5 – 271,1)	*	#	
pnn50 (%)	45,4 (2,5 – 71,6)	2,1 (0,2 – 43,1)	63,5 (3,3 – 87,8)	*	#	†
HF (ms ²)	1.209 (82 – 8.106)	111 (11 – 2.033)	2.507 (302 – 16.140)	*	#	†
LF (ms ²)	1.434 (291 – 11.141)	605 (144 – 2.465)	1.888 (290 – 9.858)			
lnHF (ms ²)	7,09 (4,41 – 9,00)	4,70 (2,40 – 7,62)	7,85 (5,71 – 9,69)	*	#	
lnLF (ms ²)	7,26 (5,67 – 9,32)	6,40 (4,97 – 7,81)	7,54 (5,63 – 9,20)			
SD1 (ms)	47,0 (14,6 – 109,1)	16,8 (7,5 – 57,0)	70,0 (17,4 – 192,2)	*	#	†
SD2 (ms)	89,7 (41,5 – 213,0)	51,3 (29,6 – 129,3)	129,8 (49,8 – 232,2)	*	#	†

Distribución de valores según parámetro, expresado como “mediana (mínimo - máximo)”. Media de intervalos RR (Media RR). Desviación estándar de intervalos normales (SDNN). Raíz de la media cuadrática de diferencias sucesivas (RMSSD). Proporción de intervalos normal a normal que difieren en más de 50 ms (pNN50). Potencia de Alta Frecuencia (HF). Potencia de Baja Frecuencia (LF). Logaritmo natural de HF (lnHF). Logaritmo natural de LF (lnLF). Índices de desviaciones estándar del gráfico de Poincaré (SD1, SD2). Diferencias significativas con $p < 0,05$ para valores entre Arica-La Paz (*), La Paz-Santiago (#) y Santiago-Arica (†).

Gráfico I: Valores de pNN50 en las diferentes condiciones experimentales.



Se muestran los valores de la pNN50 obtenidos en las tres localidades, expresados en porcentajes (%), observándose valores significativamente menores en la ciudad de La Paz respecto a las otras dos localidades. ($p < 0,05$)

Cambios de la variabilidad en la frecuencia cardiaca en altura en futbolistas profesionales

Gráfico II: Distribución de valores de HF en las distintas condiciones experimentales

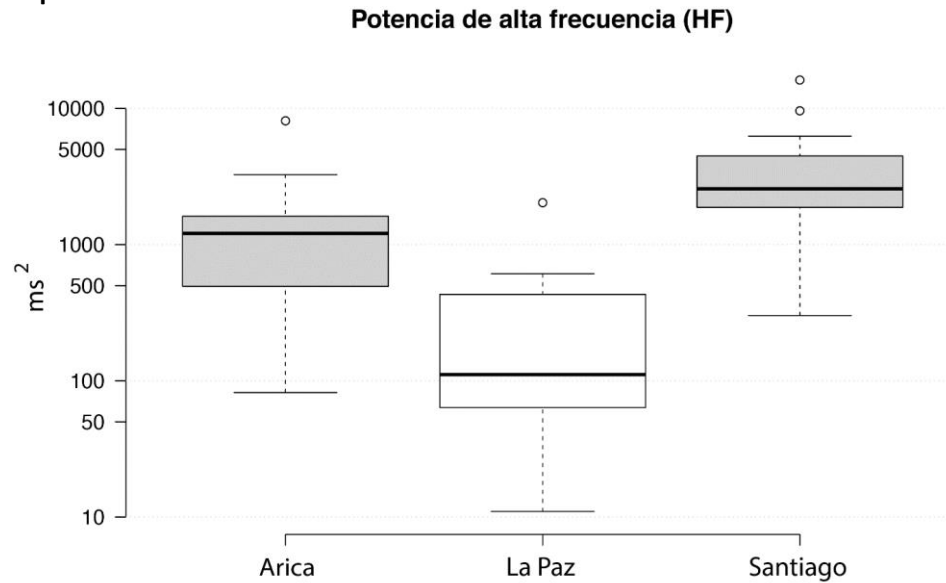
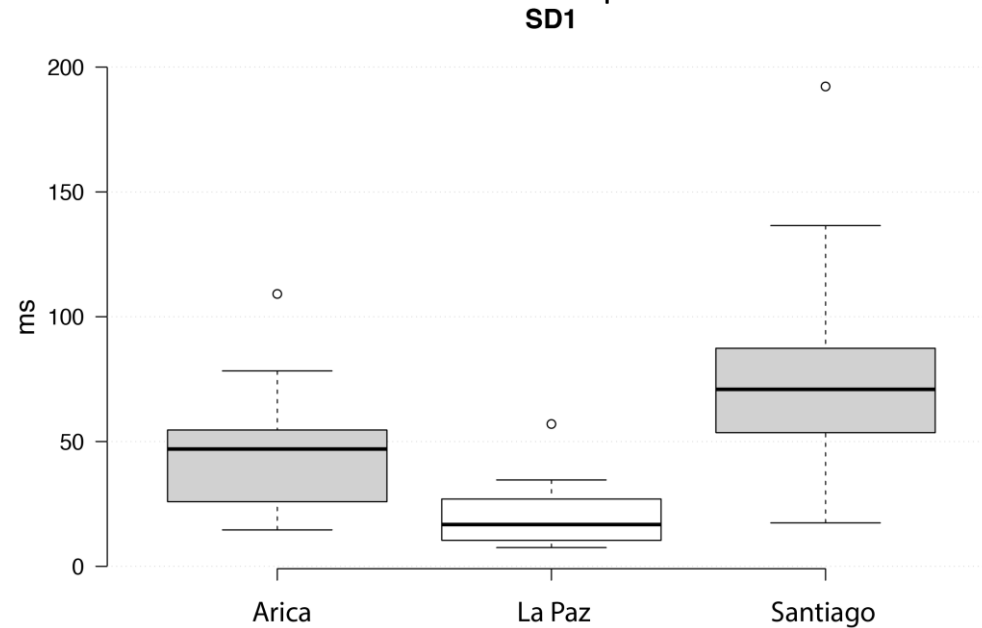


Gráfico expresado en escala logarítmica. Se muestran los valores obtenidos de la HF en las tres localidades, expresados como milisegundos al cuadrado (ms^2), observándose una reducción significativa en la ciudad de La Paz ($p<0,05$).

Gráfico III. Valores de SD1 en las distintas condiciones experimentales



Se muestran valores de SD1 expresados como milisegundos (ms), observándose una reducción significativa en la ciudad de La Paz ($p<0,05$).

Discusión

Se observaron diferencias significativas en los diferentes parámetros de la VFC entre las tres localidades, encontrándose las mayores diferencias entre La Paz–Arica y La Paz–Santiago, por lo tanto, parece evidente que la condición de hipoxia hipobárica ambiental en La Paz es un factor que influye en los cambios de la VFC. Sin embargo, debería considerarse también el estrés fisiológico ocasionado por la actividad deportiva a las que fueron expuestos los sujetos, no siendo posible por el diseño de la presente investigación poder diferenciar o cuantificar el impacto de cada una de estas condiciones por separado en la VFC. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otras investigaciones que midieron la VFC en grandes alturas, resumidas en una revisión sistemática publicada recientemente (15). Por otra parte, el ejercicio de alta intensidad, como el realizado en una competencia internacional, es un factor determinante de la VFC, observándose una disminución de ésta, aún algunas horas después de finalizado el partido (16). Algunos parámetros medidos en Santiago fueron superiores con respecto a la medición inicial realizada en Arica; lo que podría deberse a un proceso de recuperación y adaptación, aunque no es posible distinguir si este efecto se debe al descenso en la altitud o al tiempo transcurrido desde la competencia. Para dilucidar esto sería necesario un estudio con otro diseño ya que en la actualidad no existe información al respecto.

Otras investigaciones han estudiado el efecto de la altura y la hipoxia hipobárica sobre la VRC en otras disciplinas deportivas, tales como esquí (17) y natación (18), en los cuales se describe una disminución aguda de la VFC frente a situaciones de estrés hipóxico como sesiones de ejercicio en grandes alturas, mientras que tras un periodo de entrenamiento en altura los valores de la VFC se mantienen, a diferencia del entrenamiento a menor altitud donde estos aumentan (17).

Este es el primer artículo que estudia el efecto de la hipoxia hipobárica en la VFC en futbolistas profesionales después de una competencia de alto rendimiento, sin existir un proceso de aclimatación, al comparar los valores con los obtenidos en condiciones de normoxia normobárica, tanto previas como después de un periodo de recuperación.

Debido a las condiciones en las que se realizaron las mediciones, en el contexto de una competencia de nivel profesional, hubo algunas condiciones que no pudieron ser controladas en este estudio. Es así como no se pudo medir la VFC en todos los sujetos al mismo tiempo, sino que estas mediciones fueron realizadas sucesivamente. Debido a la falta de disponibilidad de equipamiento solo era posible evaluar simultáneamente a tres deportistas, por lo que desconocemos si las diferencias en los tiempos de recuperación previos a la medición pudieran haber afectado los resultados.

La medición de la VFC según este estudio permitiría identificar a aquellos jugadores cuyos parámetros se encuentren aún por debajo del nivel inicial después de un periodo de recuperación, y que por lo tanto aún no logran recuperarse de la competencia, haciendo necesario un mayor tiempo de descanso antes de la siguiente competencia. Cada vez más se evidencia la aplicabilidad de la medición de la VFC en el deporte, siendo usada para

medir los tiempos de recuperación y adaptación, determinar cargas de trabajo y diseñar planes de entrenamiento (3,17,19). Este trabajo permite evidenciar la utilidad de la VFC como una herramienta de control fisiológico frente a la realización de esfuerzo de alta intensidad en condición de hipoxia hipobárica, así como de su posterior recuperación en deportistas profesionales.

Referencias

1. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol*. 2003;90(3–4):317–25.
2. Mccraty R, Shaffer F. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk. *Glob Adv Heal Med* [Internet]. 2015;4(1):46–61. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.7453/gahmj.2014.073>
3. Kingsley JD, Figueroa A. Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2016;36(3):179–87.
4. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Brazilian J Med Biol Res*. 2002;35(35):991–1000.
5. Hsu CH, Tsai MY, Huang GS, Lin TC, Chen KP, Ho ST, et al. Poincaré plot indexes of heart rate variability detect dynamic autonomic modulation during general anesthesia induction. *Acta Anaesthesiol Taiwanica* [Internet]. 2012;50(1):12–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aat.2012.03.002>
6. Saboul D, Balducci P, Millet G, Pialoux V, Hautier C. A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *Eur J Sport Sci*. 2016;16(2).
7. Perkins SE, Jelinek HF, Al-Aubaidy HA, de Jong B. Immediate and long term effects of endurance and high intensity interval exercise on linear and nonlinear heart rate variability. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2017;20(3):312–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.009>
8. de Rezende Barbosa MPC, Júnior JN, Cassemiro BM, Bernardo AFB, França da Silva AK, Vanderlei FM, et al. Effects of functional training on geometric indices of heart rate variability. *J Sport Heal Sci* [Internet]. 2016;5(2):183–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.007>
9. Cornelissen VA, Verheyden B, Aubert AE, Fagard RH. Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *J Hum Hypertens* [Internet]. 2010;24(3):175–82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/jhh.2009.51>

Cambios de la variabilidad en la frecuencia cardiaca en altura en futbolistas profesionales

10. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. Sport Med [Internet]. 2003;33(12):889–919. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12974657>
11. Schmitt L, Fouillot JP, Millet GP, Robach P, Nicolet G, Brugniaux J, et al. Altitude, heart rate variability and aerobic capacities. Int J Sports Med. 2008;29(4):300–6.
12. Hernando D, Garatachea N, Almeida R, Casajús JA, Bailón R. Validation of Heart Rate Monitor Polar RS800 for Heart Rate Variability Analysis During Exercise. J strength Cond Res. 2018;32(3):716–25.
13. Tarvainen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. Kubios HRV - Heart rate variability analysis software. Comput Methods Programs Biomed [Internet]. 2014;113(1):210–20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
14. Voss A et al. Short-term heart rate variability — age dependence in healthy subjects. Physiol Meas. 2012;33:1289–311.
15. Oliveira ALMB, Rohan P de A, Gonçalves TR, Soares PP da S. Effects of Hypoxia on Heart Rate Variability in Healthy Individuals : A Systematic Review. Int J Cardiovasc Sci. 2017;30(3):251–61.
16. Djaoui L, Haddad M, Chamari K, Dellal A. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. Physiol Behav [Internet]. 2017;181(July):86–94. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.09.004>
17. Schmitt L, Regnard J, Coulmy N, Millet GP. Influence of Training Load and Altitude on Heart Rate Variability Fatigue Patterns in Elite Nordic Skiers. Int J Sports Med. 2018;39(10):773–81.
18. Schmitt L, Hellard P, Millet GP, Roels B, Richalet JP, Fouillot JP. Heart rate variability and performance at two different altitudes in well-trained swimmers. Int J Sports Med. 2006;27(3):226–31.
19. Proietti R, Di Fronso S, Pereira LA, Bortoli L, Robazza C, Nakamura FY, et al. Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players. J Strength Cond Res. 2017;31(6):1719–25.